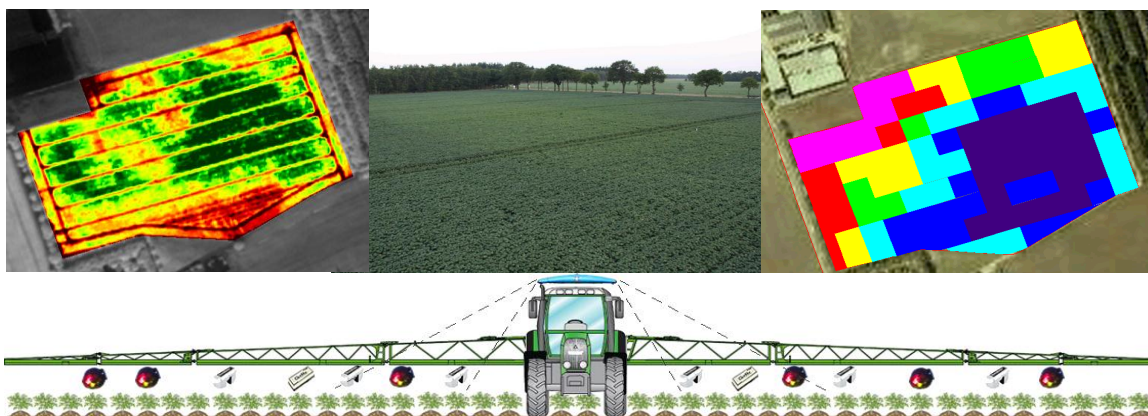


WAGENINGEN UNIVERSITY

WAGENINGEN **UR**

Verificatie remote versus near sensing voor toepassingen in precisie landbouw



Eindrapport PPL project 023

Auteur: dr. ir. L. Kooistra
Wageningen University
Droevendaalsesteeg 3
Postbus 47
6700 AA Wageningen
Telefoon: 0317-48 16 04
Fax: 0317 - 41 90 00

Opdrachtgever

Naam: Van den Borne Aardappelen
Contactpersoon: Jacob van den Borne
E-mail: info@vandenborneaardappelen.com
Website: <http://www.vandenborneaardappelen.com/>

Financiering

Naam: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie
T.a.v. directie Agroketens en Visserij
Contactpersoon: Mw. ir. P. Bonnier
Adres: Postbus 20401
Postcode/plaats: 2500 EK Den Haag
Telefoon: 070-3785121

Opdrachtnemer

Naam: Wageningen Universiteit, departement Omgevingswetenschappen
Contactpersoon: Lammert Kooistra
Afdeling: Laboratorium voor Geo-informatiekunde en remote sensing
Telefoon: 0317-481604
E-mail: Lammert.Kooistra@wur.nl

Samenwerking

Partners: BLGG AgroXpertus, TTW

Datum: september-2011

Alle rechten ten aanzien van dit projectplan alsmede van alle daarin vervatte kennis en informatie, berusten bij Wageningen University. Wageningen University aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de kennis en/of informatie uit dit rapport.

© 2011 Wageningen University

Niets uit dit drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm of welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen University, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd. Alle rechten voorbehouden.

Inhoudsopgave

Introductie	4
Proefopzet, data en methoden	6
Proefvelden	6
Gewaseigenschappen	8
Sensoren	8
Vegetatie indexen	9
Resultaten	11
Vergelijking sensoren	11
Relatie gewaseigenschappen en sensor metingen	17
Tijdseries van sensormetingen en gewaseigenschappen	20
Conclusies en aanbevelingen	23
Referenties	25
Bijlage 1: Greenseeker WDVl kaarten voor aardappel gewas in seizoen 2010	26
Bijlage 2: Fritzmeijer REP kaarten voor aardappel gewas in seizoen 2010	27

Introductie

De landbouw in Nederland en West-Europa heeft zich de afgelopen decennia razendsnel ontwikkeld en daarbij nemen nieuwe technieken om efficiënter te produceren een steeds belangrijker plek in. Met de introductie van GPS-plaatsbepalingstechnieken en de snelle ontwikkeling op het gebied van sensoren en bemonsteringstechnieken zijn de mogelijkheden van precisie landbouw sterk toegenomen. Voor operationele toepassing van precisie landbouw is plaatsspecifieke en actuele informatie over de bemestings-, vocht- en ziekte-toestand van het gewas nodig. Traditioneel wordt hiervoor grond en gewas bemonstert en geanalyseerd op basis waarvan ruimtelijke kaarten kunnen worden geproduceerd. Daarnaast is er de laatste jaren ook veel ontwikkeling in optische sensor systemen die op een non-destructieve manier de variatie in het gewas in beeld kunnen brengen. Hierbij worden verschillen in de gemeten gewasreflectie gebruikt als maat voor de variatie in gewasvitaliteit.

Onderscheidt wordt gemaakt tussen ‘close sensing’ systemen, die vlak boven het gewas meten bijvoorbeeld vanaf de spuitboom achter de trekker en ‘remote sensing’ systemen, die de gewasreflectie meten vanuit een vliegtuig of satelliet (Kikkert, 2009). Aangezien de systemen nieuw zijn en investeringskosten vaak aanzienlijk is het voor de individuele akkerbouwer van groot belang een duidelijk beeld te hebben van de voor- en nadelen van de beschikbare systemen van precisie landbouw. Daarnaast moet de informatie verkregen op basis van sensing systemen in te passen zijn in het operationale bedrijfsmanagement systeem van de agrariër. Oftewel de boer moet op basis van de informatie een beslissing kunnen maken over hoeveel, waar en op welk moment bijgestuurd moet worden. En deze (ruimtelijke) informatie moet uiteindelijk in de spuitcomputer geïmporteerd kunnen worden om bijvoorbeeld plaatsspecifiek bij te bemesten.

Om sensing als een operationele techniek in de huidige landbouw te kunnen inzetten dienen echter nog een aantal problemen te worden opgelost:

- De beschikbaarheid van de juiste sensor informatie op het juiste moment is beperkt: bijv., remote sensing is weer en satelliet-afhankelijke en close sensing is afhankelijk van de timing van beheer;
- De op dit moment beschikbare sensoren en aanverwante diensten zijn meestal gebaseerd op een of een beperkt aantal sensor data stromen, terwijl een combinatie van sensoren nodig zal zijn om relevante processen in het bodem-teeltsysteem te identificeren. Dit vereist innovatieve data-analyse methoden om voordeel te halen uit complementaire sensor data stromen;
- Relaties tussen de sensor metingen en gewas-groei,-samenstelling en opbrengst zijn matig en kunnen verbeterd worden door de combinatie van bestaande databases en de ontwikkeling van meer flexibele diagnose methoden die zijn aangepast kunnen worden aan de behoefte aan management-informatie van de individuele landbouwer;
- De beschikbaarheid van direct bruikbare spuiten kaarten en informatie voor site-specifieke beheer afgeleid uit de sensor gemeten moet worden verbeterd.

Dit rapport beschrijft de resultaten van een project met als doel het vergelijken van verschillende detectiemogelijkheden van zowel remote sensing als close sensing door 1) onderlinge vergelijking van sensor metingen en 2) vergelijking van sensormetingen met gewaseigenschappen. Het achterliggende doel is om inzicht te hebben in de vergelijkbaarheid van sensor systemen en hun relatie met gewaseigenschappen zodat op

langere termijn metingen van verschillende sensor systemen naast elkaar in een tijdserie over het groeiseizoen kunnen worden toegepast.

Het project is door het Laboratorium voor Geo-Informatie en Remote Sensing van Wageningen Universiteit uitgevoerd in opdracht van Van Den Borne Aardappelen en gefinancierd door Programma Precisie Landbouw (PPL). Daarnaast is het project uitgevoerd binnen het samenwerkingsverband 'Making Sense' waarbij Van Den Borne Aardappelen, BLGG AgroXpertus, TTW, en Wageningen Universiteit samenwerken aan de ontwikkeling van een precisiemanagementbeslismodule voor de bodemvruchtbaarheid en bemesting van akkerbouwgewassen. Meer informatie hierover is te vinden via <http://www.vandenborneaardappelen.com/416/making-sense>. Dit is ook de website waar nieuwe resultaten binnen dit onderzoek zullen worden gepubliceerd.

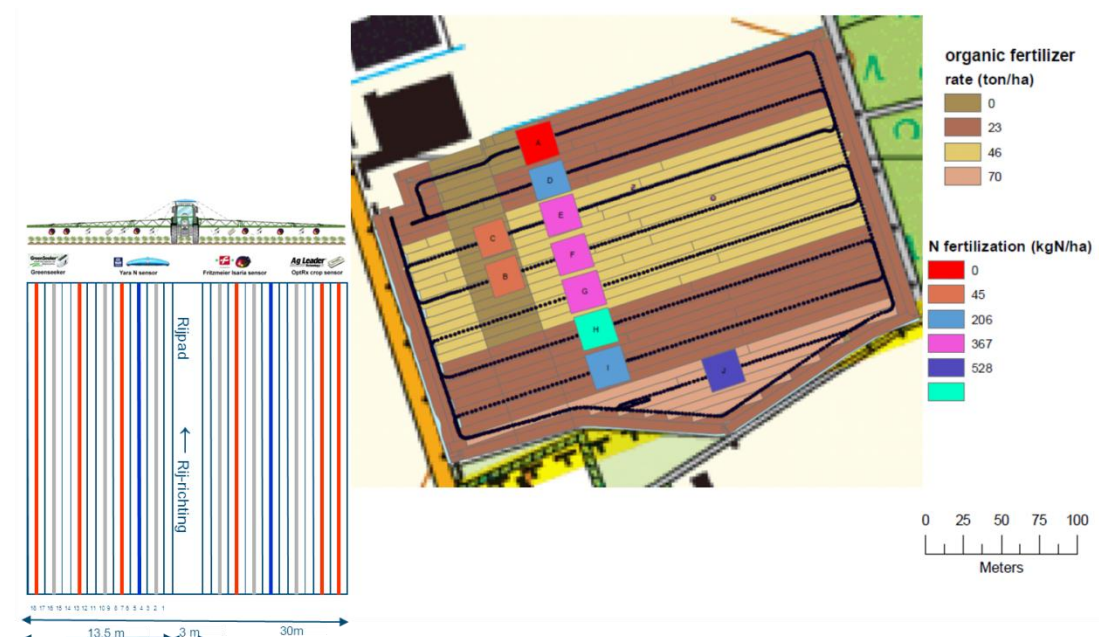
Dit rapport beschrijft de methode en resultaten van twee veld experimenten op het bedrijf van Van Den Borne Aardappelen in 2010 en 2011 waarbij hoog-frevente metingen van verschillende sensing instrumenten over het groeiseizoen met elkaar zijn vergeleken voor een aardappel perceel met verschillende bemestingsniveau 's. De resultaten focussen op de vergelijking tussen de instrumenten en de relatie van de sensor metingen met gewaseigenschappen. In het laatste hoofdstuk van dit rapport worden een aantal aanbevelingen gegeven over de operationele inzet van sensoren voor (bij)bemesting in precisie landbouw.

Proefopzet, data en methoden

Om de relatie tussen gewaseigenschappen en sensor metingen voor een brede variatie in gewastoestand te kunnen analyseren zijn op het bedrijf van Van Den Borne in 2010 en 2011 percelen met verschillende bemestingstrappen aangelegd. Binnen deze percelen zijn binnen proefplots verschillende gewaseigenschappen gemeten en is het reflectie-sigitaal van het gewas bepaald met een referentie-instrument. De metingen van het referentie-instrument zijn vergeleken met de operationele close sensing systemen en remote sensing services zoals die op het bedrijf van Van Den Borne beschikbaar zijn. Dit hoofdstuk beschrijft de opzet van de proefvelden, de gewaseigenschappen die zijn gemeten, de sensing systemen die zijn gebruikt en de methoden die zijn gebruikt voor de analyse van de data.

Proefvelden

In 2010 is een proefveld ingericht met aardappels (Ramos) met vijf bemestingsniveau's. Focus van dit experiment lag op de vergelijking van sensoren. Figuur 1 laat de ruimtelijke verdeling van de bemestingstrappen over het veld zien en de locatie van de proefplots (A t.m. J) waarbinnen de detail metingen zijn gedaan. Binnen elk proefplot met een afmeting van 30 x 30 m lagen 18 pootrijen aan weerszijden van het rijpad (in totaal 36 rijen exclusief de rijen in het rijpad). Figuur 1 laat zien welke close sensing instrumenten corresponderen met welke rijen in een spuitbaan. Met de Cropscan, het referentie instrument voor de sensing metingen, zoals dat in dit onderzoek is gebruikt, hebben we geprobeerd zoveel mogelijk de meetcondities van de closing sensing instrument te simuleren. Dit betekent vergelijkbare hoogte boven gewas en (75 cm) en meting boven de rij. Door keuze van een oppervlak van 30 x 30 m voor het proefvlak is het mogelijk om de veldmetingen op te schalen naar raster (of pixel) groottes zoals die door services zoals Mijnakker worden gebruikt (10 m).



Figuur 1: Opzet van veldproef voor sensor vergelijking op het perceel Naast de Schuur in 2010 op het bedrijf van Van Den Borne Aardappelen. Het linker detail figuur laat de opzet van de proefplots zien.



Figuur 2: Opzet van veldproef voor sensor vergelijking op het perceel Tegenover de Schuur in 2011 op het bedrijf van Van Den Borne Aardappelen.

In 2011 is een vergelijkbaar bemestingsexperiment voor aardappels (Fontana) uitgevoerd op het perceel Tegenover de Schuur in dit geval met vier bemestingsniveau's (Figuur 2). Tijdens de proef zijn op dit perceel verschillende bijbemestingsmethodes getest. Op een deel van het perceel is niet bijbemest, een deel is bijbemest op basis van close sensing metingen en beslisregels opgesteld door TTW en op een derde deel van het veld is de bijbemestingsmethode van Booij getest zoals die is ontwikkeld door PRI/PPO in het PPL project 'Sensorgestuurd N-advies in aardappel'. In dit experiment is in de metingen vooral gefocust op het verzamelen van een gedetailleerde tijdserie met wekelijkse metingen van zowel spectrale als gewaseigenschappen. Ook voor dit experiment zijn voor de spectrale en gewaseigenschappen plots van 30 bij 30 m bemonsterd waarbij de metingen zijn uitgevoerd voor een aantal specifieke rijen (zie Figuur 1).

Gewaseigenschappen

Voor de gewasmonitoring van het aardappel gewas van de proeven in 2010 en 2011, is de variatie van een groot aantal gewaseigenschappen tijdens het groeiseizoen in beeld gebracht. Tabel 1 geeft een overzicht van de gewaseigenschappen die zijn bepaald, met welke instrumenten of meetmethoden (Figuur 3), de afmeting van het meetoppervlak en het aantal observaties voor het perceel in 2010 en 2011.

Tabel 1: Overzicht van gewaseigenschappen gemeten voor proeven in 2010 en 2011.

	Gewas structuur			Gewas stikstof			Bodem	
parameter	LAI	biomassa (blad/knollen)	hoogte	totaal N	chlorofyl	plant-sap (petiole)	totaal N	bodem vocht
instrument	LAI-2000	veld balans	cm	lab analyse	SPAD		lab analyse	
sample extent	36 punten in 30*30 m	rij 1 m	rij 1 m	rij 1 m	36 punten in 30*30 m		rij 1 m	rij 1 m
aantal obs. 2010	7	7	7	5	7	8	5	7
aantal obs. 2011	13	8	8	5	13	12	5	8



Figuur 3: Overzicht van veldinstrumenten zoals die zijn gebruikt tijdens veldproeven (van links naar rechts): SPAD chlorofyl meter, LAI-2000, hoogte meting gewas en biomassa meting.

Sensoren

Metingen met close sensing methoden en de bepaling van de gewaseigenschappen zijn zoveel mogelijk tegelijkertijd uitgevoerd (meestal zelfde dag). Op het perceel in 2010 was het mogelijk om vier close sensing methoden (Greenseeker, CropCircle, Yara en Fritzmeier Isaria) met elkaar te vergelijken. In 2011 zijn twee close sensing methoden (Greenseeker, Fritzmeier Isaria) gebruikt. Tabel 2 geeft een overzicht van de eigenschappen van de gebruikte close sensing systemen. Alle vier close sensing systemen hebben hun eigen lichtbron (actieve sensing) en met de reflectie van licht in 2 t.m. 5 banden. Een detail beschrijving van de verschillende systemen is te vinden in Kikkert (2009) en op website van Van den Borne Aardappelen (<http://www.vandenborneaardappelen.com/349/close-sensing>).

Twee remote sensing services waren voor het 2010 perceel beschikbaar (Tabel 2). Naast de produkten van Mijnakker (pixel 10 m), zijn voor op 3 en 23 juni 2010 beelden opgenomen met de Worldview-2 sensor. Dit is een hoog-resolutie sensor (2 m) met acht spectrale banden waaruit verschillende vegetatie indices kunnen worden bepaald.

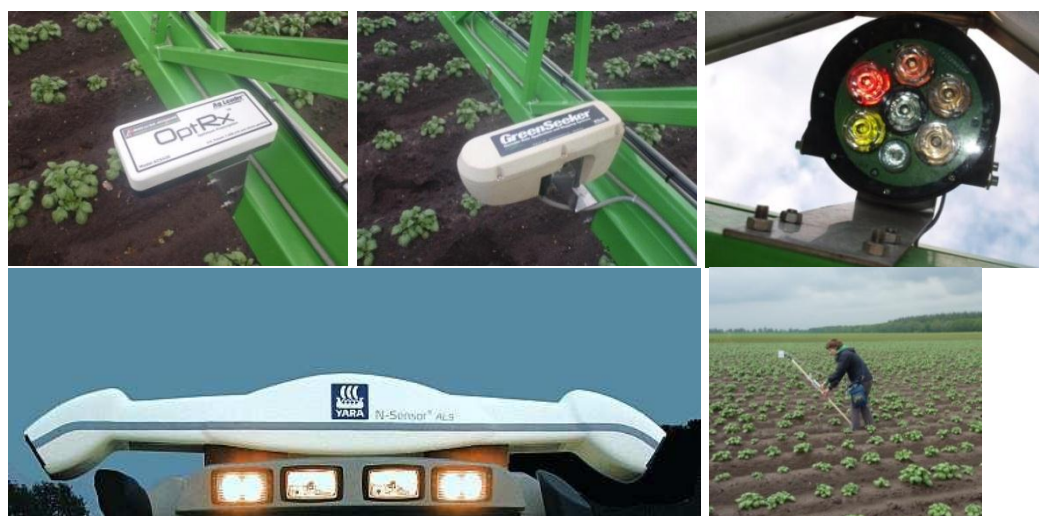
Als spectrale referentie voor de vergelijking van de verschillende sensing systemen is het cropsan instrument gebruikt. Dit is een passief sensing instrument, wat betekent dat deze tegelijkertijd de inkomende en reflecterende straling meet waardoor de reflectie kan worden bepaald in 16 spectrale banden (Tabel 2).

Tabel 2: Overzicht van sensing methoden voor veld experimenten in 2010 en 2011.

	Spectrometer		Close sensing (actief)				Remote sensing	
Instrument type	fieldspec	cropscan	green-seeker	yara	fritzmeijer isaria	crop-circle	world-view2	mijnakker ²
nr. bands	2150	16	2	54	5	3	8	4 (incl. TIR)
FOV/pixel grootte (m)	0.6	0.6	0.6	25	0.6	0.6	2	10
nr. observaties	4	8	19	6	10	6	2	10
NDVI (670/780nm)	X	X	X	(X)	(X)	(X)	X	X
WDVI (670/780nm)	X	X	(X) ¹	(X)	(X)	(X)	X	
REP-LI (670/700/740/780nm)	X	X			X			
NDRE (730/780nm)	X	X		X	(X)	X	X	
TCARI/OSAVI (550/670/700/800nm)	X	X		(X)	(X)			
DCNI (670/700/730nm)	X	X		(X)				

1: vegetatie index kan op basis van band definities worden bepaald maar wordt niet standaard beschikbaar gesteld; 2: verschillende producten zijn beschikbaar

www.mijnakker.nl.



Figuur 4: Overzicht van de close sensing sensoren die tijdens de proeven zijn gebruikt: boven van links naar rechts: cropcircle, greenseeker, fritzmeijer, en onder links de yara sensor en rechts de cropscan spectrometer welke als referentie instrument is gebruikt.

Vegetatie indexen

De meeste close range sensoren hebben hun eigen lichtbron en meten van het gewas gereflecteerd licht in specifieke spectrale banden. De hoeveelheid licht wat reflecteert van het gewas is afhankelijk van de chemische (b.v. chlorofyl) en fysische eigenschappen (b.v. hoogte) van het gewas. Om de reflectie van het gewas op een gestandaardiseerde manier te kunnen vergelijken worden een zogenaamde vegetatie index berekend (Tabel 3). Hierbij wordt volgens een bepaalde formule de reflectie in specifieke banden met elkaar gecombineerd. Sommige vegetatie indices zijn opgesteld om te relateren aan biomassa (NDVI, WDVI), Andere zijn juist gevoeliger voor de hoeveelheid chlorofyl of stikstof in het blad (REP). Dus voor het monitoren van verschillende gewas parameters zijn ook verschillende vegetatie indices nodig.

Tabel 3: Overzicht van spectrale vegetatie indices relevant voor schatting van biomassa en stikstof in vegetatie.

Index	Naam	Formule	Ontwikkeld door
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR}-R_{red})/(R_{NIR}+R_{red})$	Rouse et al. (1974)
RVI	Ratio Vegetation Index	R_{NIR}/R_{red}	Jordan (1969)
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	$R_{NIR}-C \cdot R_{red}$ $C = 2$ (soil factor)	Clevers (1989)
REP-LI	Red edge position: linear interpolation method	$700+40(R_{re}-R_{700})/(R_{740}-R_{700})$ $R_{re}: (R_{670}+R_{780})/2$	Guyot et al. (1988)
MTCI	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$(R_{754}-R_{708})/(R_{708}-R_{680})$	Dash and Curran (2008)
TCARI	Transformed chlorophyll absorption in reflectance index	$3((R_{700}-R_{670})-0.2(R_{700}-R_{550})(R_{700}/R_{670}))$	Haboudane et al. (2002)
TCARI/OSAVI	Combined Index: TCARI with Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	TCARI/OSAVI OSAVI: $1.16 \times (R_{800}-R_{670})/(R_{800}+R_{670}+0.16)$	Haboudane et al. (2002)
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption index	$[(R_{700}-R_{670})-0.2 \times (R_{700}-R_{550}) \times (R_{700}/R_{670})]$	Daughtry et al. (2000)
DCNI	Double-peak canopy nitrogen index	$(R_{720}-R_{700})/(R_{700}-R_{670})/(R_{720}-R_{670}+0.03)$	Chen et al. (2010)
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index	$(R_{780}-R_{720})/(R_{780}+R_{720})$	Eitel et al. (2010)

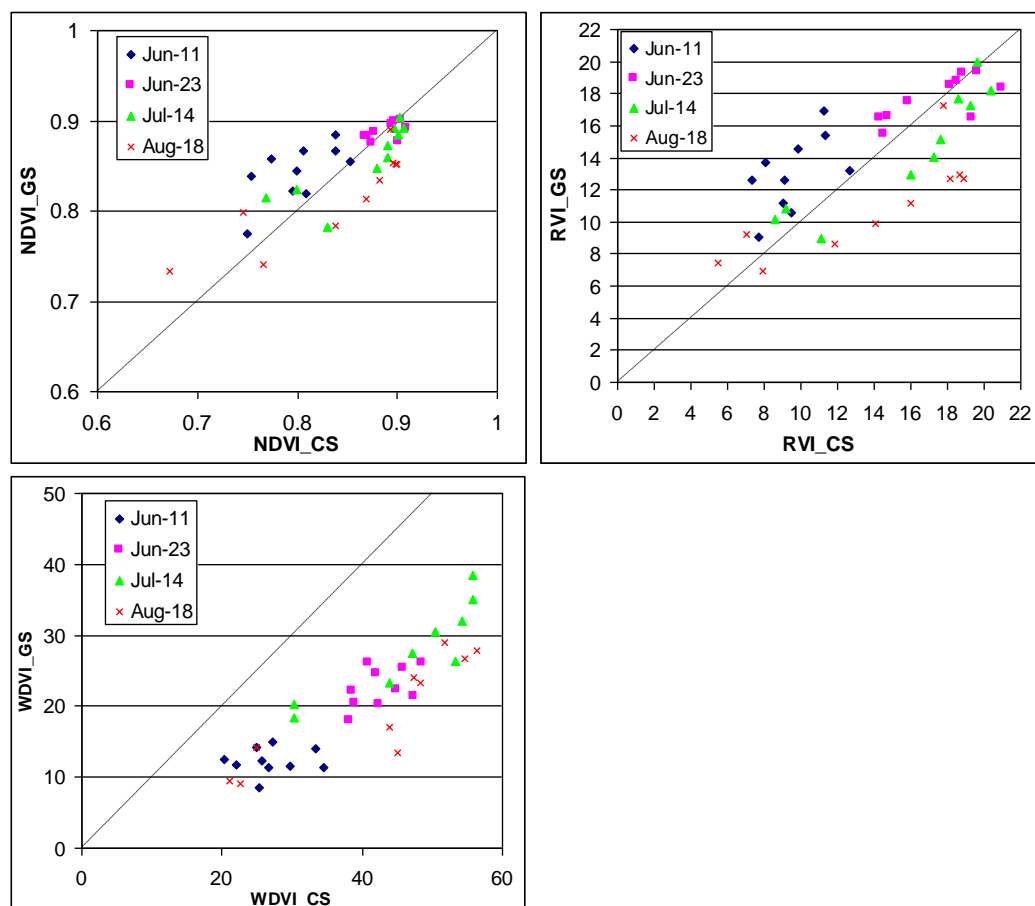
De vegetatie indices zoals gepresenteerd in tabel 3 worden deels operationeel toegepast in commerciële close range sensoren (NDVI, REP, NDRE). Andere indices zijn het resultaat van wetenschappelijk onderzoek naar de optimale combinatie van spectrale banden om een gewaseigenschap op een nauwkeurig te kunnen bepalen. Vaak worden hier nauwe spectrale banden of meer dan 2 banden voor gebruikt. Deze combinaties zijn in de meeste commerciële close range systemen niet beschikbaar. Alleen het Fritzmeijer systeem lijkt door z'n beschikbaarheid van 5 banden meerdere vegetatie indices te kunnen bepalen (Tabel 2).

Resultaten

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste uitkomsten van het project met een nadruk op de uitkomsten van het experiment uit 2010. De resultaten zijn opgedeeld in drie onderdelen: 1) de vergelijking tussen sensoren, 2) de relatie tussen gewaseigenschappen en sensor metingen en 3) de ontwikkeling van sensormetingen en gewaseigenschappen over het groeiseizoen. Binnen het samenwerkingsverband 'Making Sense' zullen de gegevens verder worden geanalyseerd en worden gepubliceerd via: <http://www.vandenborneaardappelen.com/416/making-sense>.

Vergelijking sensoren

De vergelijking van de sensoren is gebaseerd op de data opgenomen in 2010. Hierbij zijn de reflectiemetingen opgenomen met het cropscan instrument (Tabel 2 en Figuur 4) als referentie gebruikt. Voor elk van de 10 referentie plots (Figuur 1) is een vergelijking gemaakt tussen de gemiddelde vegetatie index waarden bepaald met de cropscan en de gemiddelde waarde bepaald voor een index bepaald met een van de vier close sensing sensoren. Hieronder wordt deze vergelijking per close sensing systeem verder toegelicht.



Figuur 4: Vergelijking van vegetatie indices NDVI, RVI en WDI gemeten met Cropscan (CS) en Greenseeker (GS) voor 10 referentieplots op verschillende momenten tijdens het groeiseizoen.

Greenseeker

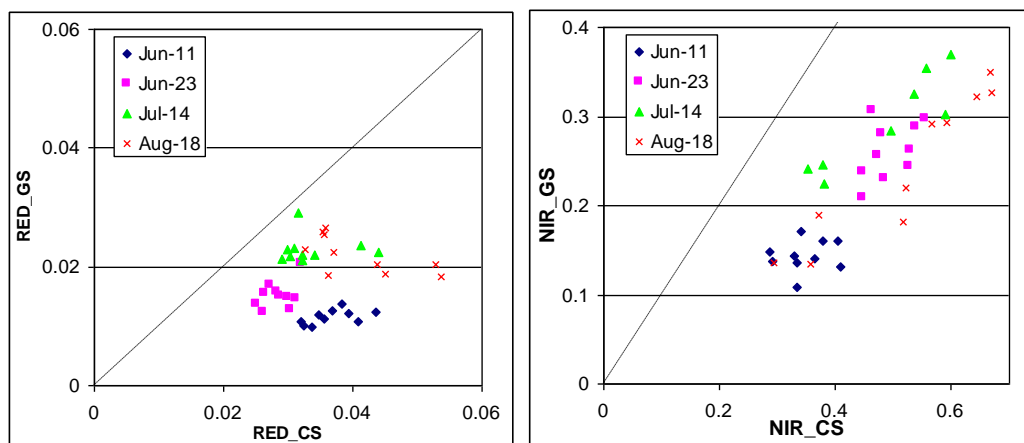
De vegetatie indices die standaard door de Greenseeker sensor worden bepaald zijn de NDVI en de RVI welke beide zijn gebaseerd op metingen in de rode en NIR band (Tabel 3). Wanneer een extra bewerking wordt uitgevoerd op de standaard output van de Greenseeker sensor kan ook de WDWI worden berekend met deze sensor. Hiervoor moet dan wel een aanname worden gedaan voor de bodemreflectie (c factor) aangezien deze wordt meegenomen in de berekening voor de WDWI (Tabel 3).

Figuur 4 laat de vergelijking zien tussen cropscan en Greenseeker gemeten indices voor de 10 referentieplots in 2010 op vier verschillende momenten tijdens het groeiseizoen van het aardappel gewas. Voor NDVI en RVI liggen de meetpunten redelijk rond de 1:1 lijn zoals die in de figuur is aangegeven. De waardes voor NDVI en RVI op 11 juni geven voor de Greenseeker en voor 18 augustus een onderschatting. Dit zou kunnen worden veroorzaakt door de achtergrond reflectie van de bodem aangezien het gewas op deze momenten niet volledig gesloten is. De meting voor Greenseeker WDWI is systematisch lager dan die WDWI bepaald via de cropscan. Aangezien het gemeten oppervlak van het gewas vergelijkbaar is (Tabel 2) moet hiervoor een andere reden zijn. Figuur 5 laat de vergelijking zien tussen gemeten reflectie in de rode en NIR band voor de cropscan en Greenseeker. Voor beide banden geeft de Greenseeker een systematisch lagere waarde tegen opzicht van de cropscan meting. Daarnaast lijkt vooral in de rode band de variatie in reflectie tussen verschillende behandelingen vrij gering. Het is nog niet duidelijk wat de oorzaak hiervan is maar een belangrijk verschil is tussen de cropscan en greenseeker is dat de laatste een eigen lichtbron heeft. Wel heeft dit een duidelijk effect op een index als WDWI aangezien deze gebaseerd is op een verschil tussen de waardes in reflectiebanden (Tabel 3). Ratio indices zoals NDVI en RVI zijn hiervoor minder gevoelig omdat deze door hun ratio berekening hiervoor corrigeren.

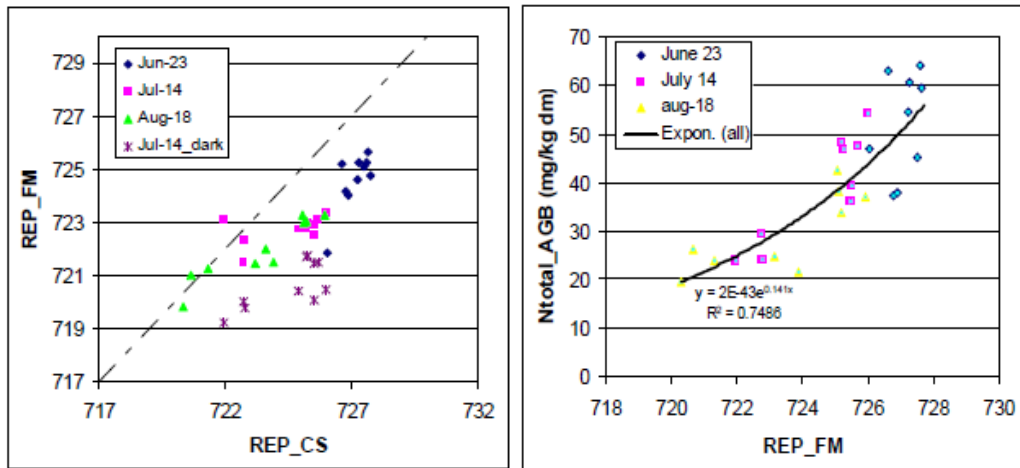
De algemene trend van de gemeten index waarden is relatief lage waarden aan het begin van het seizoen (11 juni) die oplopen door toenemende biomassa van het aardappel loof (23 juni en 14 juli). Hier begint al wel een grotere spreiding in index waarden zichtbaar te worden (b.v. RVI in figuur 4) wat wordt veroorzaakt door de verschillende bemestingsniveau 's. Aan het eind van het seizoen (18 augustus) neemt de index waarde dan weer af door teruglopende biomassa en hoeveelheid chlorofyl in het gewas.

Fritzmeijer

In de oorspronkelijke versie van de Fritzmeijer sensor wordt alleen de REP gemeten. Deze metingen zijn beschikbaar voor het experiment in 2010. Figuur 6 laat de vergelijking zien tussen de REP gemeten met de Fritzmeijer sensor en die met de cropscan op drie

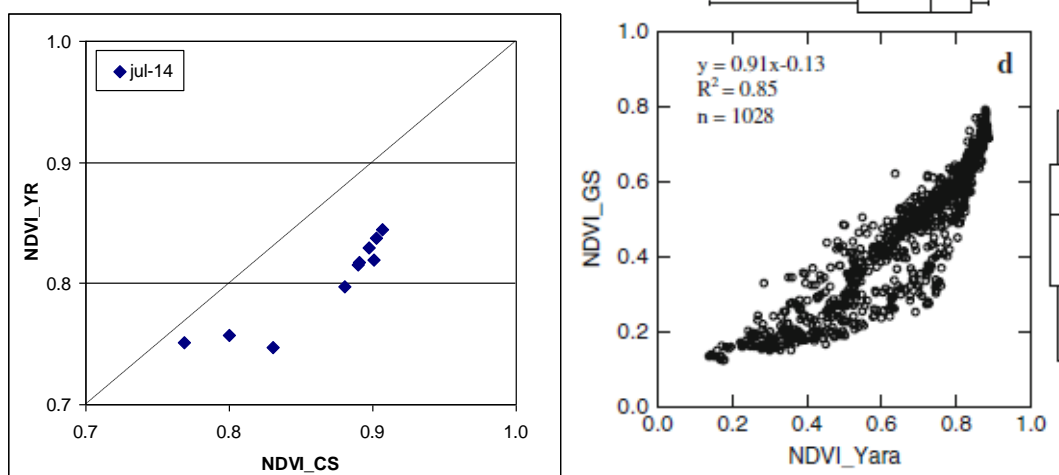


Figuur 5: Vergelijking reflectie waarden in rode (links) en NIR band (rechts) voor de cropscan en de Greenseeker sensor.



Figuur 6: Vergelijking van vegetatie index REP gemeten met Cropscan (CS) en Fritzmeijer (FS) voor 10 referentieplots op verschillende momenten tijdens het groeiseizoen (links). Rechts de relatie tussen de REP gemeten met de Fritzmeijer sensor en totaal stikstof in de bovengrondse biomassa (mg/kg ds) voor de referentieplots op drie verschillende momenten.

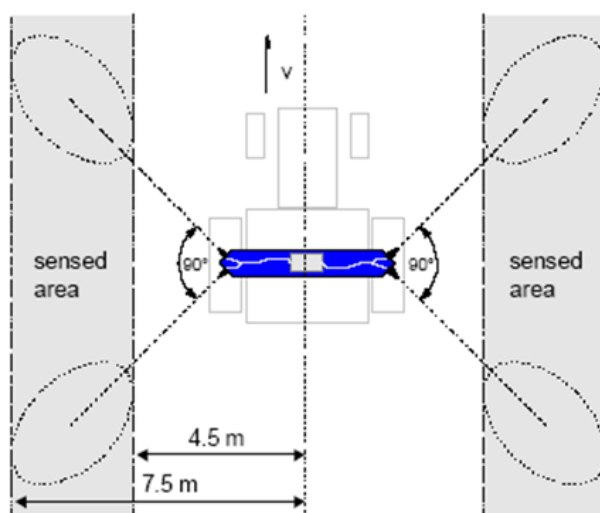
verschillende momenten tijdens het groeiseizoen. De figuur laat zien dat hogere REP gemeten door de Fritzmeijer sensor worden onderschat t.o.v. de cropscan gemeten REP. Dit wordt onder andere veroorzaakt door kleine verschillen in de berekening van de REP voor het Fritzmeijer waarbij voor NIR band de band rond 820 nm wordt gebruikt. Op 14 juli zijn de Fritzmeijer metingen zowel overdag als 's nachts uitgevoerd. In de laatste situatie wordt alleen het gereflecteerde licht uit de eigen lichtbron van de sensor gemeten wat leidt tot lagere REP waarden maar wel met een lineair verband met cropscan metingen. Figuur 6 laat zien dat aan het begin van het seizoen (23 juni) de REP relatief hoog is wat relateert aan relatief hoge chlorofyl en dus ook stikstof concentraties. Gedurende het seizoen neemt de REP geleidelijk af wat wordt verklaart door de afnemende chlorofyl concentraties in de bovenste bladeren van het gewas. De rechter plot in figuur 6 laat zien dat hogere REP waarden inderdaad correleren met hogere stikstof concentraties in het gewas.



Figuur 7: Vergelijking van vegetatie index NDVI gemeten met cropscan (CS) en Yara (YR) sensor) voor 10 referentieplots gemeten op 14 juli 2010 (links). Rechts de relatie tussen NDVI gemeten met de Yara en de Greenseeker sensor (Tremblay et al., 2009) gemeten voor graan op verschillende tijdstippen in het groeiseizoen.

Yara

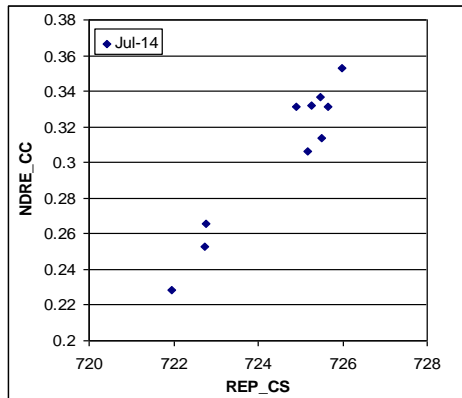
De Yara sensor heeft een eigen vegetatie index de Sn. De Sn is een sensor-specifieke combinatie van golflengtes en details over welke banden worden gebruikt en hoe ze gecombineerd zijn niet bekend. In deze studie zijn een beperkt aantal Yara metingen omgezet naar reflectie metingen op basis waarvan een NDVI waarde kan worden berekend die ook kan worden vergeleken met de gemeten cropscan metingen voor de referentie plots (Figuur 7). Deze vergelijking laat zien dat NDVI waarden door de Yara sensor een systematisch lagere waarde geven dan de cropscan gemeten NDVI waarden. Een verklaring hiervoor is het verschil in opgenomen oppervlak bij de cropscan meting, een cirkel met een diameter van 0.6 m boven het aardappel gewas t.o.v. een Yara meet oppervlak zoals gepresenteerd in figuur 8. Dit betekent dat bij de Yara meting relatief meer grondoppervlak tussen rijen zal worden gemeten terwijl ook de meting onder een hoek wordt gemaakt. In eerdere studie door Trembley et al. (2009) (Figuur 7) is een vergelijking gemaakt tussen sensor metingen met de GreenSeeker en de Yara sensor. Voor beide sensoren kon een relatie worden gemaakt met de stikstof status van het gewas maar relaties met de gewas status kunnen niet uitgewisseld worden tussen sensoren.



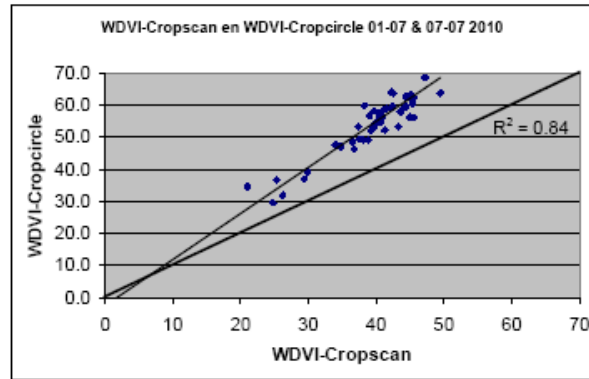
Figuur 8: Geometrie van het opname gebied van de Yara sensor boven het gewas.

Cropcircle

De cropcircle sensor gebruikt de Normalized Difference Red Edge (NDRE) als vegetatie index voor de karakterisering van de gewas status. Deze index gebruikt naast de rode en NIR band (tabel 3) een band in het red edge gebied (720 nm) en is hierdoor zowel gerelateerd aan de hoeveelheid biomassa als ook de hoeveelheid chlorofyl in het gewas. In Figuur 9 (links) is daarom de index REP van de cropscan die is gebaseerd op vergelijkbare banden vergeleken met de NDRE van de Cropcircle. Voor het tijdstip half juli lijkt er een lineaire relatie tussen de twee vegetatie indices te bestaan. De plots met een lage bemesting (A, B en C) links onder in de figuur laten een duidelijk lagere waarde zien voor de index wat is gerelateerd aan lagere chlorofyl (en stikstof concentraties) in de plant. Op basis van de linker figuur kan geen beoordeling worden gemaakt in hoeverre er tussen de sensoren systematische verschillen optreden. In een ander PPL project hebben Jukema en Lamantia (2010) een vergelijking gemaakt van de WDWI gebaseerd op cropscan en cropcircle metingen (Figuur 9 rechts).



Grafiek 6: correlatie tussen WDVl Cropscan en WDVl Cropcircle

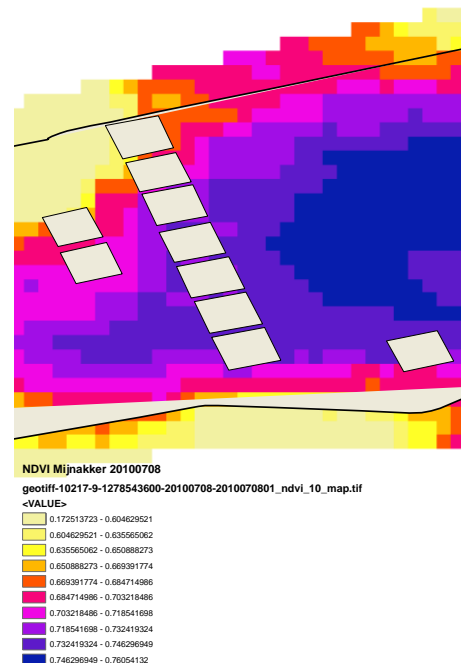
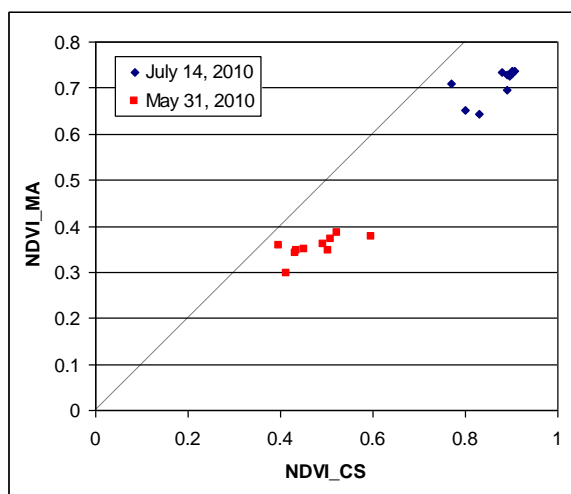


Figuur 9: Links: de vergelijking van REP gemeten met de Cropscan (CS) en de NDRE bepaald met de Cropcircle (CC). Rechts: Vergelijking van WDVl gebaseerd op cropscan en cropcircle metingen in aardappels uit de studie van Jukema en Lamantia (2010)

De vergelijking geeft een lineaire relatie maar deze wijkt af van de 1:1 lijn wat in dit geval betekent dat de cropcircle t.o.v. van de cropscan systematisch een hogere WDVl waarde geeft. De oorzaak van dit systematische verschil zou verklaart kunnen worden door een afwijkende definitie van de banden van de cropcircle t.o.v. de cropscan.

Mijnakker

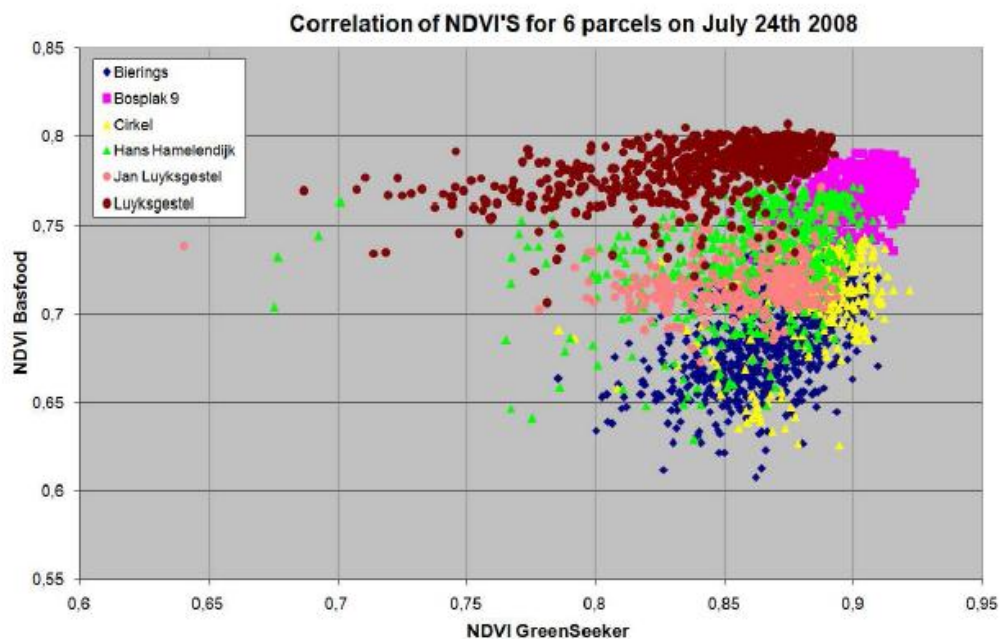
Naast de vergelijking met close sensing systemen is binnen dit project ook een vergelijking gemaakt tussen de cropscan metingen als referentie en de remote sensing gebaseerde producten van de Mijnakker service (www.mijnakker.nl). Hierbij is het verschil in de ruimtelijke dimensie van de opnames een belangrijk aandachtspunt. Figuur 10 rechts laat het Mijnakker NDVI product van 8 juli 2010 zien waarbij de pixels van het gridbestand een ruimtelijke resolutie hebben van 10 m ten opzichte van de referentieplots (30 bij 30 m) zoals die in dit project zijn gebruikt.



Figuur 10: Vergelijking van NDVI gemeten voor Cropscan en het Mijnakker NDVI product voor 2 momenten tijdens het 2010 groeiseizoen (links). En rechts de vergelijking van de referentieplots voor het perceel in 2010 met het Mijnakker NDVI product van 8 juli 2010.

Het Mijnakker NDVI product laat een duidelijke spreiding binnen het perceel zien. Vergelijking van de NDVI gemeten met de cropscan op de referentieplots en de Mijnakker NDVI (Figuur 10, links) laat zien dat het Mijnakker een onderschatting van de NDVI geeft. Dit wordt vooral veroorzaakt door de pixelgrootte van het Mijnakker product van 10 m. Dit betekent dat naast de reflectie van het gewas ook achtergrond reflectie een grotere rol gaat spelen in het totale reflectie signaal van de remote sensing pixel. Hierbij valt te denken aan de bodem tussen de rijen aardappels voor sluiting van het gewas maar ook de rijpaden. Aan de randen van de percelen zal er invloed zijn van het gewas op andere percelen, sloten en andere waterwegen, schaduw van bomen of andere hogere vegetatie.

In een eerder onderzoek is door van Raay et al. (2009) de relatie tussen Mijnakker en Greenseeker NDVI voor zes aardappel percelen in Brabant voor verschillende momenten tijdens het groeiseizoen 2008 (Figuur 11). Figuur 11 laat zien dat de NDVI range voor de Greenseeker hoger ligt (0.75-0.93) dan die van Mijnakker NDVI (0.6 – 0.8). En ook dat de variatie binnen een perceel van Mijnakker NDVI in de meeste gevallen een factor 2 lager is t.o.v. de Greenseeker NDVI. Dit kan worden verklaard door het verschil in oppervlakte (Tabel 3) wat wordt 'gezien' door de Greenseeker sensor (cirkel met diameter 0.6m) en de pixel grootte van het Mijnakker product (10 m).

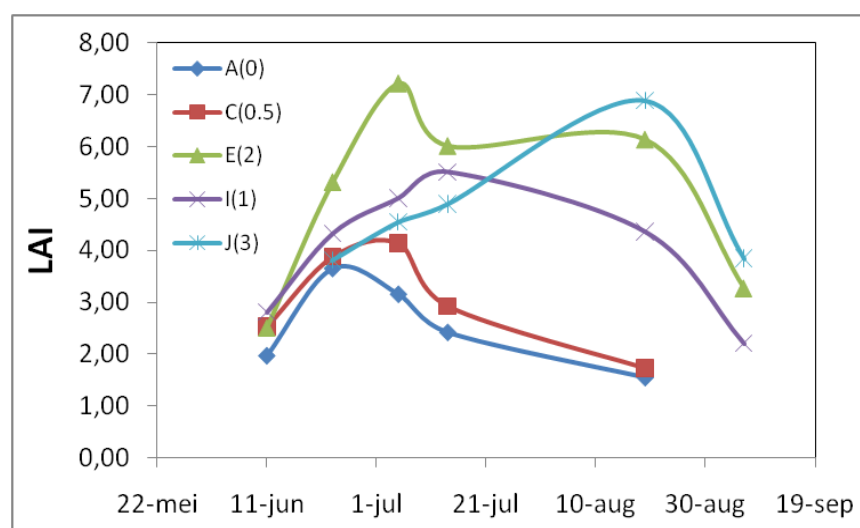


Figuur 11: Vergelijking van NDVI gemeten met Greenseeker en op basis van het Mijnakker NDVI product voor zes percelen op het bedrijf van Van den Borne Aardappelen op 24 juli 2008 (bron: van Raay et al., 2009).

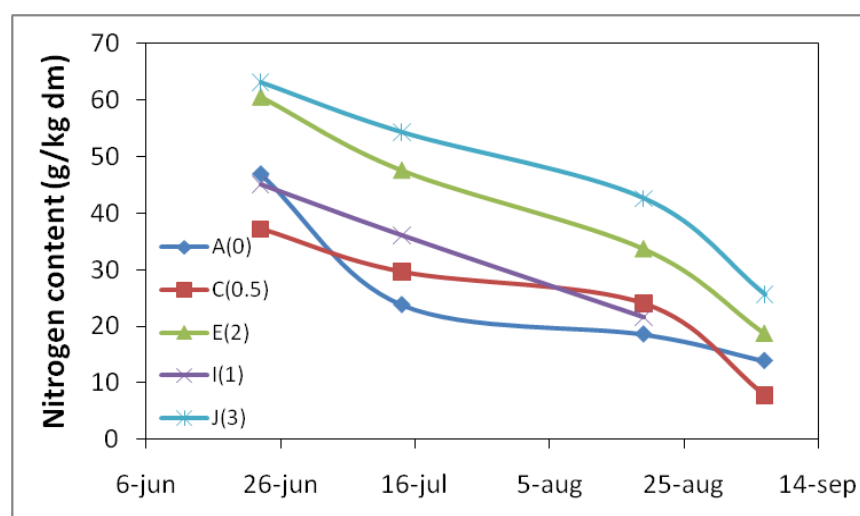
Relatie gewaseigenschappen en sensor metingen

Ontwikkeling gewaseigenschappen seizoen 2010

In dit onderzoek is de relatie tussen sensor metingen en de gewaseigenschappen biomassa (of LAI) en stikstof gehalte in de plant onderzocht. Figuur 12 en 13 laten respectievelijk de ontwikkeling van LAI en het totale stikstof gehalte in het aardappel gewas voor 5 bemestingsniveaus in het seizoen 2010 zien (Figuur 1). De bovengrondse biomassa ontwikkelt zich voor de verschillende niveaus duidelijk erg verschillend waarbij voor alle plots een trendbreuk optreedt door een sterke droogte periode eind juni. Dit resulteert na dit moment in een afname van de LAI voor de plots A en C en een stabilisatie van LAI voor plots E en I. Plot J met het hoogste bemestingsniveau ontwikkelt zich relatief langzaam en heeft een hoog biomassa niveau aan het eind van het groeiseizoen. De stikstof concentratie in de plant (Figuur 13) laat een afnemende trend zien met een concentratie van stikstof in de plant die zich verhoudt tot het oorspronkelijke bemestingsniveau.



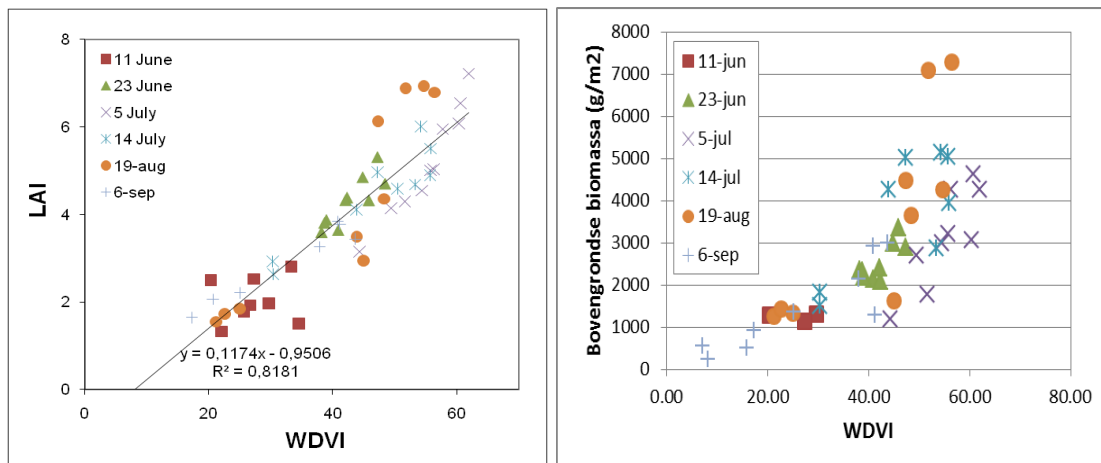
Figuur 12: Ontwikkeling van leaf area index (LAI) voor aardappel referentieplots (zie Figuur 1) met verschillende bemestingsniveaus voor het groeiseizoen 2010.



Figuur 13: Ontwikkeling van stikstof concentratie in bovengrondse biomassa voor aardappel referentieplots (zie Figuur 1) met verschillende bemestingsniveaus voor het groeiseizoen 2010.

Biomassa en leaf area index (LAI)

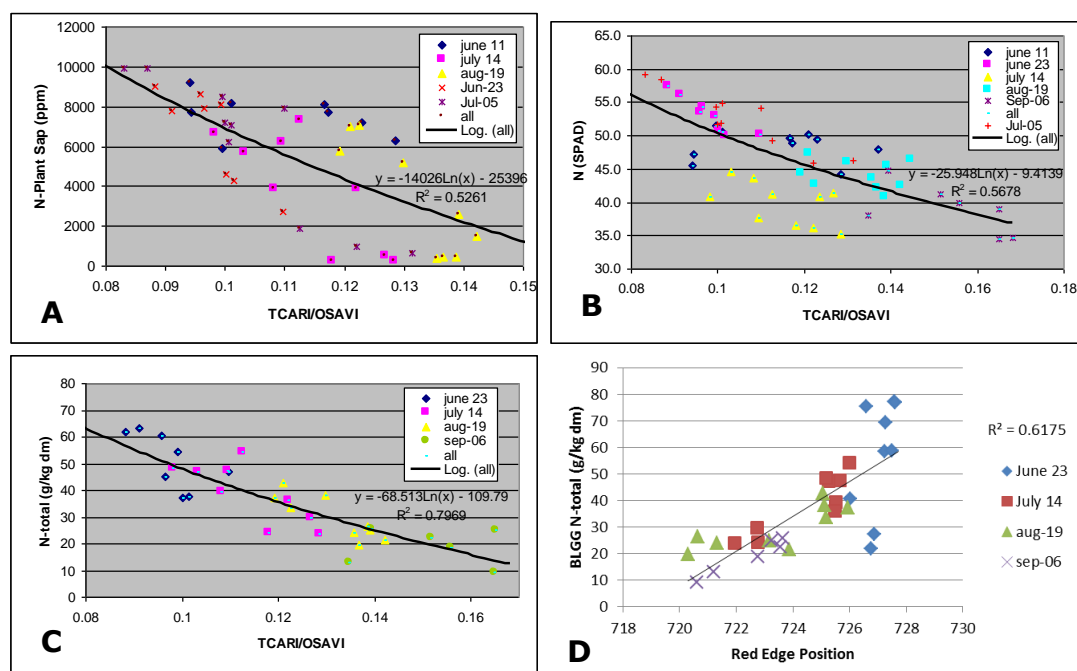
Eerdere studies hebben al laten zien dat de vegetatie index WDV een goede indicator is voor de totale biomassa en de LAI van het gewas (Clevers, 1989). Figuur 14 laat zien dat de gemeten WDV gemeten met de cropscaan lineair toeneemt met de gemeten LAI (Tabel 1) van het aardappelgewas voor verschillende momenten tijdens het groeiseizoen in 2010. De resulterende relatie voor LAI heeft een hoge verklarende variatie met een R^2 van 0.81. De relatie van WDV met de totale bovengrondse biomassa is niet lineair en lijkt te verzadigen bij een biomassa van 4 kg/m² en hoger vanaf de periode begin juli 2010. Alhoewel de LAI en de bovengrondse biomassa sterk zijn gecorreleerd ($r = 0.78$), lijkt de WDV gevoeliger te zijn voor de LAI dan voor de biomassa. Waarschijnlijk kan dit deels worden verklaard door de verandering van de structuur van het gewas tijdens het groeiseizoen. In de eerste 4 weken van het groeiseizoen investeert de plant vooral veel energie in de productie van blad biomassa. Dit is zowel zichtbaar in de LAI als in de bovengrondse biomassa. In de weken daarna wordt de hoeveelheid stengel biomassa t.o.v. de blad biomassa relatief gezien steeds hoger. Deze stengel biomassa wordt door de sensoren maar deels gedetecteerd maar de afnemende LAI gerelateerd aan het blad wordt wel gedetecteerd. Vooral in de periode eind juni – begin juli is er na een vrij droge periode (Figuur 18) veel blad afgestorven maar bleef de totale biomassa in de stengel redelijk op niveau.



Figuur 14: Relatie tussen weighted difference vegetation index (WDVI) en gemeten LAI (links) en de bovengrondse biomassa (rechts) voor de referentieplots in 2010 voor verschillende momenten tijdens het groeiseizoen.

Stikstof concentratie in bovengrondse deel van de plant

Een belangrijke parameter om de bemesting van aardappels op zandgrond tijdens het groeiseizoen te kunnen sturen is de hoeveelheid stikstof in de bovengrondse gewas delen. In de praktijk worden twee methodes gebruikt om dit bepalen: 1) de plant sap methode, dit is een methode die in het veld kan worden uitgevoerd; en 2) destructieve analyse van gewas materiaal in het laboratorium. De laatste methode is relatief duur en wordt alleen toegepast op een goed getimed moment tijdens het groeiseizoen. Maar er kan uiteindelijk maar op een beperkt aantal punten binnen het perceel worden bemonsterd. In dit onderzoek hebben we gekeken in hoeverre deze bepaling kunnen worden gerelateerd aan vegetatie indices die zijn ontwikkeld voor de karakterisering van stikstof concentratie in het gewas. Daarnaast hebben we nog een derde methode voor stikstof bepaling vergeleken namelijk met het SPAD instrument (Tabel 1).

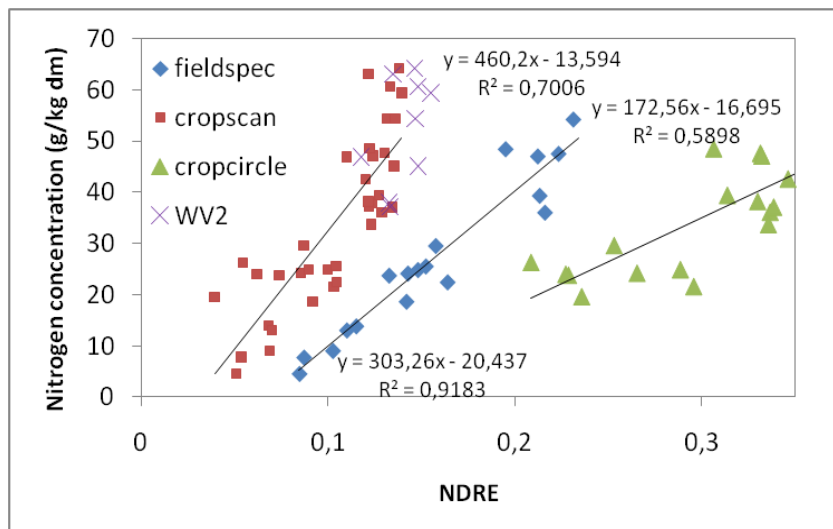


Figuur 15: Relatie tussen de TCARI/OSAVI (Tabel 3) gemeten met cropscan met drie verschillende parameters voor stikstof: A) totaal stikstof bepaald op basis van plantsap analyse; B) stikstof bepaald op basis van SPAD; C) stikstof op basis van destructieve analyse; en D) tussen totaal stikstof op basis van destructieve analyse en de REP index.

Figuur 15 laat de relatie zien tussen de stikstof concentraties bepaald met verschillende methoden en een aantal specifieke vegetatie indices gebaseerd op de cropscan metingen. De beste relatie (op basis van hoogste waarde voor R^2) is die tussen totaal stikstof en de TCARI/OSAVI (Figuur 15C) en deze geldt voor verschillende momenten over het groeiseizoen. Voor de relatie van TCARI/OSAVI met plant sap bepaalde stikstof (Figuur 15A) lijkt de relatie verschillend te zijn voor metingen aan het begin van het seizoen (boven regressie lijn) t.o.v. de metingen aan het eind van het seizoen (onder de regressie lijn). De relatie voor de SPAD metingen en de TCARI/OSAVI (Figuur 15B) liggen redelijk op de regressielijn, afgezien van de punten van 14 juli 2010. Dit laatste zou veroorzaakt kunnen zijn door het proces van stikstof verzadiging waarbij alle chlorofyl in het gewas al is bezet met voldoende stikstof en de extra stikstof wordt opgeslagen in andere onderdelen van de plant zoals eiwitten. Dit wordt niet gedetecteerd door het SPAD instrument want deze detecteert alleen de stikstof gekoppeld aan chlorofyl. De sterke toename van de stikstof opname in deze periode is te verklaren uit een langere droogte periode eind juni (Figuur 17). Hierna is het gewas door aanvullende irrigatie en regen weer biomassa gaan ontwikkelen en de aanwezige bodem stikstof is hierbij in sterke mate opgenomen. De relatie van totaal stikstof met de REP geeft ook een redelijke relatie (Figuur 15D) met een paar uitschieters voor de laag bemeste plots B en C (Figuur 1).

Tabel 4: Overzicht van de voorspellingskwaliteit op basis van R^2 (determinatie coëfficiënt) van verschillende vegetatie indices (Tabel 3) bepaald met cropscan voor de schatting van stikstof parameters in het gewas (n=40).

Vegetatie index	SPAD	Totaal stikstof	Plantsap
NDVI	0,099	0,503	0.244
WDVI	0,002	0,239	0.036
TSCARI/OSAVI	0,568	0,798	0,525
DCNI	0,555	0,742	0.488
REP	0,272	0,618	0.185

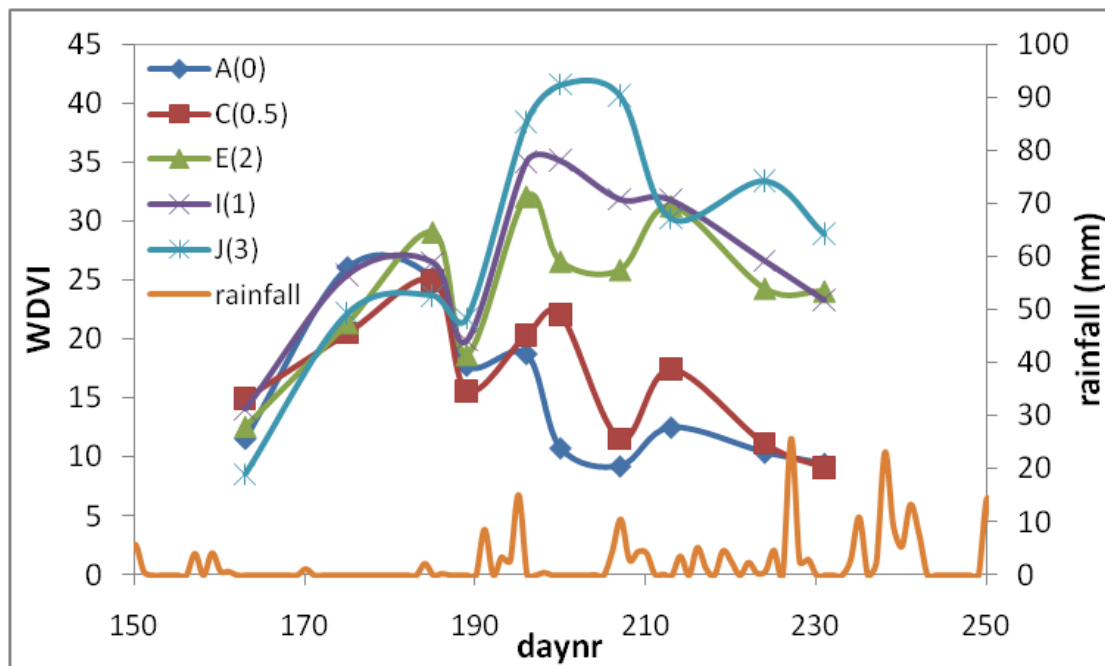


Figuur 16: Relatie tussen NDRE index gemeten met verschillende sensoren en de totale stikstof concentratie.

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de voorspellingskwaliteit van vegetatie indices voor stikstof op basis van 3 meetmethoden. NDVI en WdVI hebben een matige relatie met stikstof doordat deze indices vooral gevoelig zijn voor biomassa ontwikkeling. Zowel TCARI/OSAVI als de DCNI geven redelijke goede relaties voor alle drie stikstof bepalingsmethodes maar voor deze indices zijn specifieke golflengte banden nodig (Tabel 3) die de huidige close sensing instrumenten afgezien van de Fritzmeijer nog niet allemaal beschikbaar hebben. Een andere veel gebruikte index in de precisie landbouw is de NDRE (Tabel 3). Figuur 16 laat zien dat deze index voor verschillende sensoren zowel close en remote sensing goede relaties geeft met de totale stikstof concentratie. De resultaten in de figuur geven een duidelijk voorbeeld van hoe verschillen tussen sensoren (tabel 2: bandbreedte en positie, meetoppervlak, etc.) resulteren in verschillende relaties met de gewasparameter. Dit betekent dat een NDRE meting met de cropcircle niet direct kan worden vergeleken met een NDRE meting van de croptscan.

Tijdsreeks van sensormetingen en gewaseigenschappen

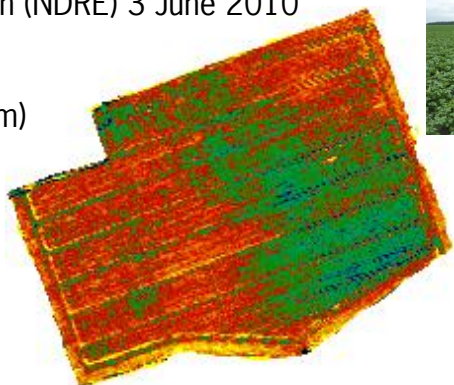
Een belangrijke meerwaarde van close en remote sensing methoden is dat de ontwikkeling van het gewas over het groeiseizoen in beeld kan worden gebracht. Dit betekent dat dus een serie van waarnemingen wordt gemaakt van de gewasstatus in het veld. In bijlage 1 en 2 worden voorbeelden gegeven van het verloop van metingen van respectievelijk de Greenseeker WdVI en Fritzmeijer REP over het groeiseizoen van 2010. Voor de WdVI (bijlage 1) zien we grote verschillen over het groeiseizoen die verklaart kunnen worden door verschil in bovengrondse biomassa ontwikkeling van de aardappels voor verschillende bemestingsniveau's. Ook voor de REP zijn duidelijk binnen het perceel duidelijk verschillende trends te zien die zowel gerelateerd zijn aan de verschillen in bemestingsniveau's maar die ook veroorzaakt worden door waterbeschikbaarheid (Figuur 17) en de daaraan gekoppelde opname capaciteit voor stikstof (b.v. voor 14 juli 2010). In de huidige praktijk worden voor de beoordeling van de gewas status vaak alleen de laatst opgenomen (recentste) beelden gebruikt. Het zou uit het oogpunt van gewasontwikkeling echter ook relevant zijn om een indicator voor gewasontwikkeling te bepalen op een combinatie van gewas metingen in de tijd.



Figuur 17: Ontwikkeling van de WDWI gemeten met de cropscaan over het groeiseizoen voor een selectie van de referentieplots in 2010 in verhouding tot de dagelijkse regenval voor het KNMI station Eindhoven op ongeveer 20 km van het perceel.

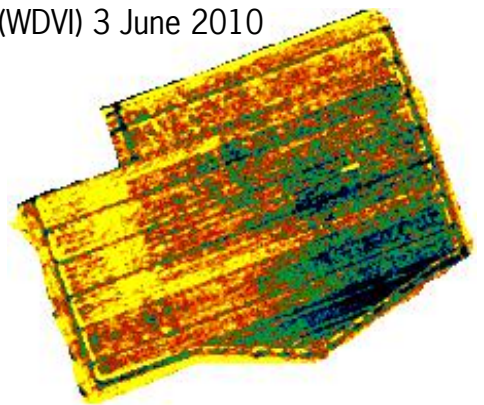
Nitrogen (NDRE) 3 June 2010

N
(g/kg dm)
40
0



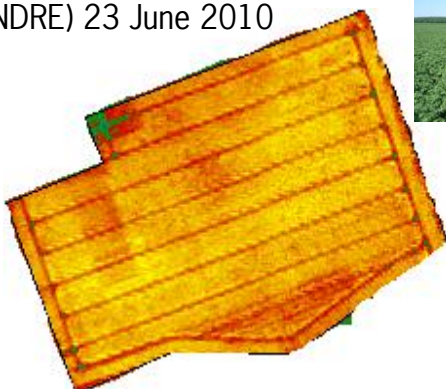
LAI (WDVI) 3 June 2010

LAI
3
0



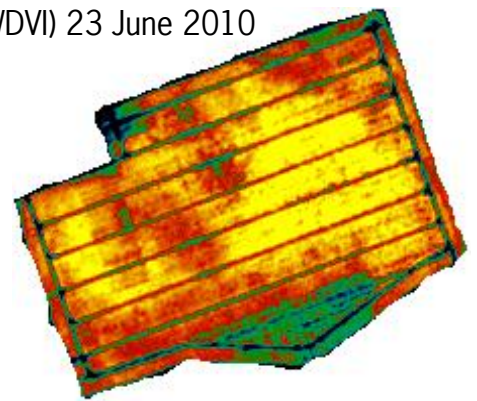
Nitrogen (NDRE) 23 June 2010

N
(g/kg dm)
60
0



LAI (WDVI) 23 June 2010

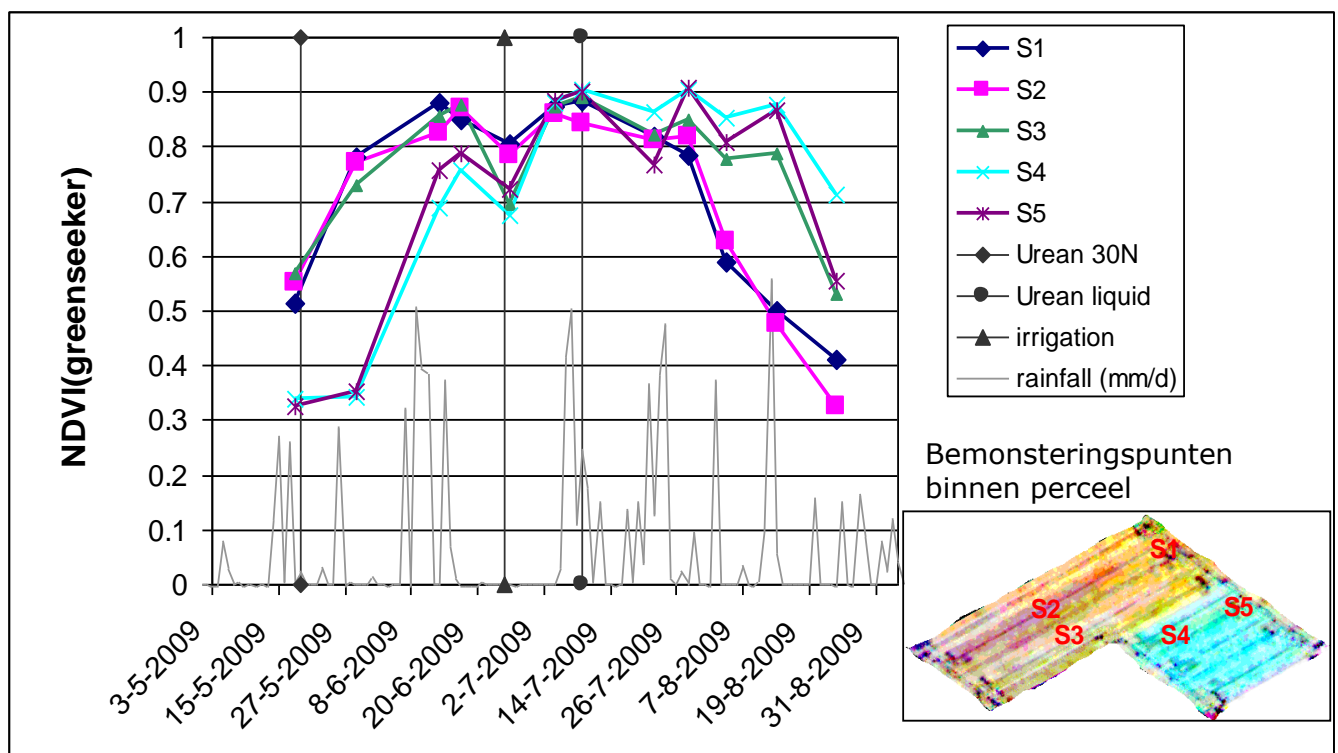
LAI
6
0



Figuur 18: Kaarten afgeleid uit satelliet beelden van de Worldview-2 sensor voor 3 en 23 juni 2010 met links de stikstof concentratie in bovengrondse gewas op basis van NDRE index en rechts de LAI op basis van de WDWI.

Ook op basis van satelliet gegevens kan de toestand van het gewas over het groeiseizoen in beeld worden gebracht. In figuur 18 wordt de stikstof en LAI toestand van het experimentele perceel in beeld gebracht met behulp van de Worldview-2 sensor voor 3 en 23 juni in 2010. Hierbij is voor het berekenen van de stikstof toestand in het gewas gebruik gemaakt van de NDRE index en de regressie curve zoals gepresenteerd in figuur 16. Voor de ruimtelijke LAI kaart is gebruik gemaakt van de WDI index en de regressie curve gepresenteerd in figuur 14. Door het hoge detail niveau van de Worldview-2 beelden met een pixel grootte van 2 m zijn bijvoorbeeld rijpaden en de experimentele plots goed te onderscheiden.

In een eerder gepubliceerde studie, lieten Thessler et al. (2011) zien dat door de combinatie van sensor metingen op verschillende meetmomenten in de tijd, ruimtelijke patronen binnen een perceel kunnen worden onderscheiden (Figuur 19). Deze ruimtelijke patronen hebben zowel een oorzaak in de bodem variatie, maar ook door verschil in management activiteiten (verschil in pootgoed). Maar door combinatie van sensormetingen met management informatie kunnen oorzaak-gevolg relaties worden onderscheiden en kunnen onderscheidende bodeminvloeden zichtbaar worden gemaakt. Deze informatie kan dan bij de voorbereiding van de percelen voor teelt in volgende jaren worden gebruikt om management zones te onderscheiden of het opzetten van bemonsteringspatronen van bodemeigenschappen.



Figuur 19: Ontwikkeling van de NDVI gemeten met de GreenSeeker voor een perceel binnen het bedrijf van Van den Borne Aardappelen in relatie tot dagelijkse regenval van KNMI station Eindhoven en management activiteiten zoals irrigatie en bemesting. Het kaartje laat de vijf bemonsteringspunten zien en het gecombineerde beeld van drie GreenSeeker metingen op verschillende momenten in het groeiseizoen: rood: 13 juni; groen: 9 juli; blauw: 29 juli 2009 (bron: Thessler et al., 2011).

Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bevindingen van het onderzoek samengevat en aanbevelingen gegeven. Deze aanbevelingen zullen verder worden opgepakt en uitgewerkt binnen het samenwerkingsproject 'Making Sense'. Meer informatie hierover is te vinden via <http://www.vandenborneaardappelen.com/416/making-sense>. Dit is ook de website waar nieuwe resultaten binnen dit onderzoek zullen worden gepubliceerd.

Sensor vergelijking

Binnen het project is een vergelijking gemaakt tussen verschillende close sensing en remote sensing systemen waarbij spectrale metingen met het cropscan instrument als referentie zijn gebruikt. De resultaten laten zien dat vergelijking van metingen tussen sensoren over het algemeen voor verschillende vegetatie indices vergelijkbare (lineaire) relaties laten zien. Verschillen zijn vooral systematisch (dus verschuiving van punten t.o.v. de 1:1 lijn) en deze zijn sensor afhankelijk. Deze systematische verschillen kunnen verschillende (gecombineerde) oorzaken hebben:

- Verschillen in gemeten oppervlak: vooral voor close sensing (cirkel met standaard hoogte van gewas) ten opzichte van remote sensing (vierkante pixel met afmeting afhankelijk van type sensor in satelliet of vliegtuig);
- Verschillen in principe van sensor techniek: passieve (zon als lichtbron) en actieve (eigen lichtbron) sensoren en de specificatie van de banden van de sensoren;
- Verschil in timing van de meetmomenten: metingen met verschillende sensoren op exact hetzelfde moment zijn praktisch vaak moeilijk te realiseren. Dit betekent dat voor sommige vergelijkingen er een aantal dagen tussen metingen zit. In specifieke stadia van de gewasontwikkeling kan dit van grotere invloed zijn. Maar ook verschil van timing binnen een dag kan al duidelijke verschillen geven door de ontwikkeling van de gewas fysiologie over een dag.

Om de kwaliteit van vooral close sensing metingen te verbeteren kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Detail metingen voor referentie oppervlakken (mogelijk niet vegetatie) zijn nodig voor het opstellen van inter-calibraties tussen sensoren voor het omrekenen van metingen en ook beslisregels voor bijmesting op basis van verschillende sensoren;
- Er dient een (simpel) protocol voor calibratie van close sensing sensoren te worden opgesteld die door gebruikers kan worden gebruikt om de kwaliteit van de close sensing metingen over het groeiseizoen in de gaten te houden.
- Specificaties voor de sensoren en hun producten dienen beter te beschreven en beschikbaar te worden gesteld aan de gebruikers. In een aantal gevallen zijn de specificaties niet beschreven of moeilijk te achterhalen. Vooral voor een goede implementatie van close sensing systemen heeft de agrariër ondersteuning nodig bij de opzet van een registratie systeem voor de metingen en de juiste beslisregels die aansluiten bij het bedrijfsmanagementsysteem. Dit vereist vaak een of twee seizoenen van meten om dit te kunnen ontwikkelen.
- De output formats voor de verschillende sensing systemen dienen te worden gestandaardiseerd. Op dit moment voldoen deze vaak niet aan hetzij standaarden voor de uitwisseling van b.v. geo-informatie bestanden of aan de standaarden zoals die worden gesteld door de gangbare agrarische bedrijfsmanagement systemen. Meta data zoals geometrische projectie voor de verzamelde data ontbreken vaak. Daarnaast worden vaak de vegetatie indices als output variabele gegeven. Voor onderzoeksdoeleinden zouden ook de oorspronkelijk gemeten reflectie waarden van belang zijn (Figuur 5).

- De output files voor close sensing metingen bestaan uit punt observaties. Voor een management kaart heeft de agrariër vaak een continue kaart nodig zoals een raster kaart. Voor het omzetten van punt observaties naar een rasterkaart bestaan interpolatie procedures die ook in GIS software zoals Farmworks beschikbaar is. Wat op dit moment nog ontbreekt zijn (geautomatiseerde) standaard procedures (in the clouds) om deze bewerking van punt naar raster data te kunnen maken zodat management kaarten voor verschillende momenten tijdens het groeiseizoen met elkaar kunnen worden vergeleken (inclusief afstemming met Editeelt standaarden).

Sensoren en relatie met gewaseigenschappen

De resultaten in dit onderzoek laten zien dat sensor metingen een goede indicatie geven van de ontwikkeling van het aardappel gewas tijdens het groeiseizoen (figuur 19). Dit geldt niet alleen voor gewaseigenschappen zoals biomassa en leaf area index (LAI) wat ook al in eerder onderzoek is aangetoond. Maar ook stikstof gehalten in de plant bepaald op basis van destructieve analyse of plant sap analyse in het veld hebben een duidelijke relatie met spectrale vegetatie indices zoals de red-edge positie (REP) en de normalized difference red-edge (NDRE). Voor de bepaling van deze indices op basis van close range sensing zijn wel een aantal specifieke golflengte banden nodig die niet standaard door alle commercieel beschikbare close range sensoren worden gemeten.

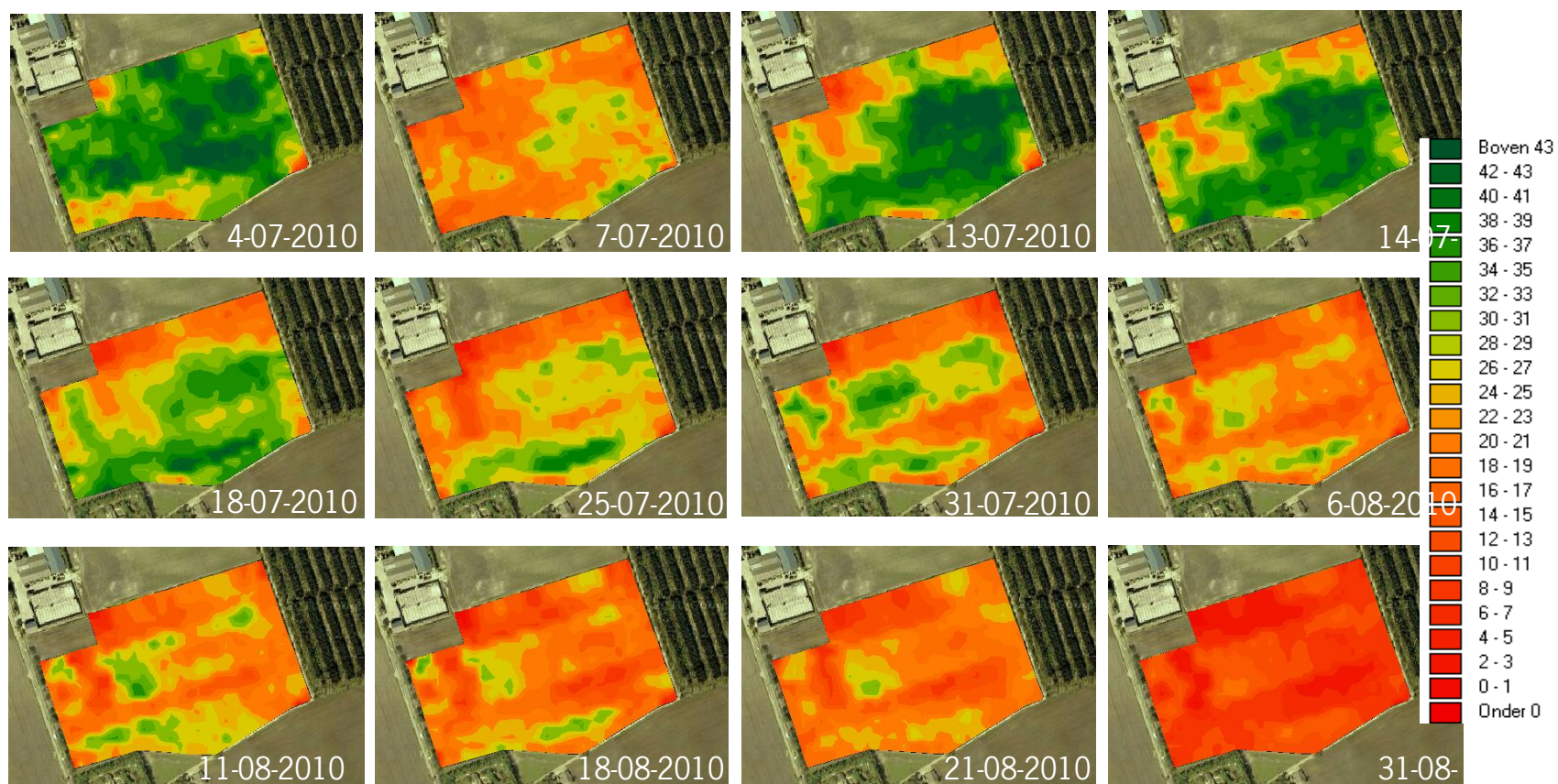
Voor de inzet van sensoren voor het sturen van bemesting of andere bewerkingen tijdens het groeiseizoen kunnen de volgende aanbevelingen worden gemaakt:

- Alhoewel in dit onderzoek voor beide onderzochte jaren, significante relaties zijn gevonden tussen stikstof concentraties in het gewas en sensor gemeten vegetatie indices, speelt hier wel mee dat de behandelingen in de experimenten niet helemaal vergelijkbaar zijn met de veldsituatie i.v.m. de relatief grootte spreiding in toegediende stikstof. Aanvullend onderzoek is nodig naar de detectie nauwkeurigheid bij smallere stikstof ranges in het gewas.
- Voor de ontwikkeling van rekenregels voor bijbemesting op basis van verschillende sensoren zou de beschikbare kennis zoals die o.a. binnen PPL wordt ontwikkeld meer centraal beschikbaar moeten worden gemaakt. Op een groot aantal proefvelden zijn en worden experimenten uitgevoerd naar de relatie tussen sensor metingen en gewaseigenschappen voor verschillende gewassen. Om tot robuuste rekenregels te komen zou de data uit deze veldexperimenten moeten worden gecombineerd aangezien dan de effecten van verschillen in sensor type, bodemachtergrond, klimaat etc. kunnen worden gekarakteriseerd en gecorrigeerd.
- In dit onderzoek zijn de mogelijkheden van close sensing en remote sensing voor monitoring van de gewas status afzonderlijk van elkaar onderzocht. Dit sluit aan bij de huidige praktijk waarin deze twee technieken ook vaak afzonderlijk van elkaar worden gebruikt. Het zou kansrijk zijn om de mogelijkheden van de twee inwinningmethoden met elkaar te combineren om b.v. voor remote sensing het probleem van beperkte data beschikbaarheid tijdens bewolkte situaties te ondervangen. Dit zou wel betekenen dat afstemming nodig is tussen de providers van deze sensor services om de vergelijkbaarheid van metingen met verschillende sensor systemen te verbeteren.

Referenties

- Chen, P., Haboudane, D., Tremblay N., Wang, J., Vigneault, P., Li, B., 2010. New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sensing of Environment* 114: 1987–1997.
- Clevers, J.G.P.W., 1989. The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *Remote Sensing Environment*, 29: 25–37.
- Dash, J., and Curran, P. J., 2004. "The MERIS terrestrial chlorophyll index. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 25, pp. 5403-5413.
- Daughtry, C. S., C. L. Walthall, M. S. Kim, E. Brown de Colstoun, and J. E. McMurtrey. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment* 74:229-239.
- Eitel J.U.H., Keefe R.F., Long D.S., Davis A.S., Vierling L.A., 2010. Active Ground Optical Remote Sensing for Improved Monitoring of Seedling Stress in Nurseries. *Sensors* 10: 2843-2850.
- Haboudane, D., J. R. Miller, N. Tremblay, P. J. Zarco-Tejada, and L. Dextraze, 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment* 81: 416-426.
- Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor. *Ecology*, vol. 50, pp. 663-666.
- Jukema, J.N., Lamantia, (2010). Adviesregel pootaardappelen 24. Een toets in de praktijk van de werking van stikstof bijbemesten op basis van gewasreflectie metingen in pootaardappelen. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR. PPO rapportnr. 3250189710.*
- Kikkert, A.. 2009. Sensingsystemen voor bodem en gewas ten behoeve van precisielandbouw: overzicht van beschikbare producten. HLB rapport 655, februari 2009, Wijster, Nederland.
- Rouse, J. W., R. H. Hass, J. A. Schell, D. W. Deering, and J. C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Final Report, NASA/GSFC, Greenbelt, MD.
- Guyot, G., F. Baret and D.J. Mayor, 1988. High spectral resolution: determination of spectral shifts between the red and the near infrared. *Int. Arch. Photogr. Rem. Sens.*, 27 11: 750–760.
- Thessler S., Kooistra L., Teye F., Huitu H., Bregt A.K., 2011. Geosensors to Support Crop Production: Current Applications and User Requirements. *Sensors* 11:6656-6684.
- Van Raaij, A., Worku, H., van den Ham, J.P., Krufova, M., Crespo, I., 2009. Optimizing farming practices by using remote sensing techniques: utilizing GreenSeeker and Basfood data for precision farming. Consultancy Report Students Geo-Information Science (RGIC-05-09), Wageningen University.

Bijlage 1: Greenseeker WDWI kaarten voor aardappel gewas op veld Naast de Schuur voor het groeiseizoen 2010.



Bijlage 2: Fritzmeijer REP kaarten voor aardappel gewas op veld Naast de Schuur voor het groeiseizoen 2010.

